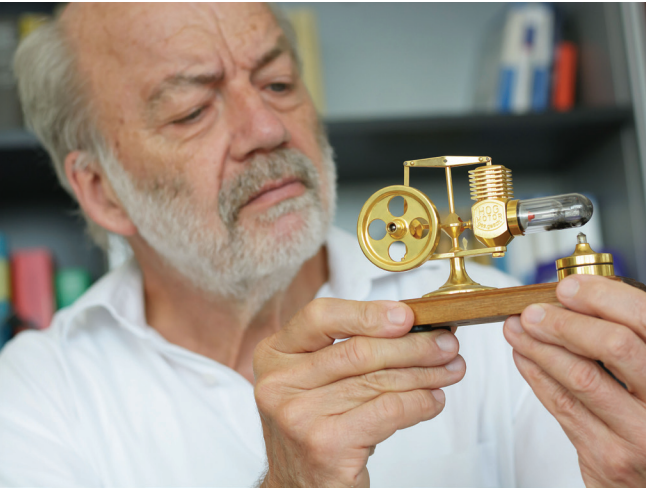


# —President's Message



S. Spangenberg

It is remarkable that optics and photonics, like no other field, is paving the way for future technologies.

the Lawrence Livermore National Laboratory, USA, which has pursued laser fusion, announced that it had exceeded “scientific breakeven,” creating a fusion reaction that produced more energy than the laser-induced X-ray energy that triggered it. At this high level, scaling up is difficult, and even improvement factors of two can be very challenging. Reaching this milestone was a highly commendable achievement, deserving all the media attention it attracted.

Interestingly, the recent progress in laser fusion has triggered dozens of startup companies worldwide and has made it a hot topic at many optics and photonics conferences. I find this remarkable, because for laser fusion, as with magnetic-confinement fusion, the path ahead is still a long one. Among other things, the scientific breakeven achieved at NIF compares the fusion energy generated only with the light energy actually absorbed by the target to ignite the nuclear fuel. The laser’s wall-plug efficiency is not factored in—and, for NIF, that was low, as was the pulse repetition rate.

There are, of course, new concepts for much more efficient high-power lasers, so hopes are high. But we can still expect a long road to technological success. Along that road, many fundamental questions at the intersection of laser physics, materials science, optics, plasma physics and nuclear physics still must be addressed and overcome. This creates a wonderful opportunity for the younger members of our community.

Like everyone, I will continue to watch the development of both magnetic-confinement and inertial-confinement fusion with great interest. It is remarkable that optics and photonics, like no other field, is paving the way for future technologies—not only in fusion, but also in quantum sensing, communication and computing; in energy-efficient microelectronics; in safe and efficient human–machine interaction; in so many other areas.

—Gerd Leuchs,  
Optica President

When searching for the most economic, readily available energy source on Earth, independent of time and weather, scientists have looked for reactions that provide the highest amount of energy per elementary process. Nuclear fission was an obvious choice, given the high binding energy associated with the strong force between elementary particles. But fission energy has the well-known downside of radioactive waste. Much better, it seems, would be a controlled version of the process that powers the sun: nuclear fusion.

Fusion energy has been a dream as far back as I can remember. In my own country, Germany, research programs started in the 1960s aiming in parallel at both magnetic-confinement fusion and inertial-confinement fusion (that is, laser fusion). By the time I started work on my dissertation, research toward laser fusion had been dropped in Germany, but it continued elsewhere, especially in the United States.

Magnetic-confinement fusion became a priority of the European Union and several other areas. Research has progressed step by step, encountering unforeseen problems here and there—as is usual in fundamental science—but overcoming them with enough effort. Progress in magnetic-confinement fusion has been steady and continues today in a promising direction. Only about a factor of five is missing in performance before a meaningful power plant can be built.

Then, in December 2022, the National Ignition Facility (NIF) at

---

A French translation of this message appears on the next page. Additional translations (Chinese, German, Japanese and Spanish) can be found at [optica-opn.org/link/0424-presidents-message](https://optica-opn.org/link/0424-presidents-message).

**A** la recherche de la source d'énergie la plus économique et abondante sur Terre, indépendamment du temps et conditions météorologiques, les scientifiques ont exploré des réactions fournissant la plus grande quantité d'énergie par processus élémentaire. La fission nucléaire était un choix évident, étant donné l'importante énergie de liaison associée à la force puissante entre les particules élémentaires. Mais l'énergie de fission présente l'inconvénient bien connu des déchets radioactifs. Une bien meilleure version est celle du processus qui alimente le soleil : la fusion nucléaire.

L'énergie de fusion a été un rêve aussi loin que je me souviens. Dans mon propre pays, l'Allemagne, des programmes de recherche ont commencé dans les années 1960 visant simultanément à la fusion par confinement magnétique et à la fusion par confinement inertiel (c'est-à-dire, la fusion laser). Au moment où j'ai commencé à travailler sur ma thèse, la recherche sur la fusion laser avait été abandonnée en Allemagne, mais elle se poursuivait ailleurs, notamment aux États-Unis.

La fusion par confinement magnétique est devenue une priorité de l'Union européenne et de plusieurs autres régions. La recherche a progressé graduellement, rencontrant des problèmes imprévus par ci et là – comme d'habitude dans les sciences fondamentales – mais les surmontant avec suffisamment d'efforts. Les progrès dans la fusion par confinement magnétique ont été constants et se poursuivent aujourd'hui dans une direction prometteuse. Seule une amélioration d'environ un facteur de cinq est nécessaire en termes de performances avant qu'une centrale électrique significative puisse être construite.

Puis, en décembre 2022, le National Ignition Facility (NIF) au Lawrence Livermore National Laboratory, aux États-Unis, qui a poursuivi la fusion laser, a annoncé qu'il avait dépassé le « seuil de rentabilité scientifique », en créant une réaction de fusion qui a produit plus d'énergie que l'énergie des rayons X induits par laser qui l'ont déclenchée. À ce niveau élevé, l'augmentation est difficile, et même des facteurs d'amélioration de deux peuvent être très difficiles. Atteindre cette étape était une réussite très louable, méritant toute l'attention des médias qu'elle a suscitée.

Remarquablement, les récents progrès dans la fusion laser ont suscité l'émergence de dizaines de startups dans le monde entier et en ont fait un sujet très discuté lors de nombreuses conférences sur l'optique et la photonique. Je trouve cela remarquable, car pour la fusion laser, tout comme pour la fusion par confinement magnétique, le chemin à parcourir est encore long. Entre autres, le seuil de rentabilité scientifique atteint au NIF compare l'énergie de fusion générée uniquement avec l'énergie lumineuse effectivement absorbée par la cible pour enflammer le combustible nucléaire. L'efficacité énergétique du laser n'est pas prise en compte – et, pour le NIF, celle-ci était faible, tout comme le taux de répétition des impulsions.

Il existe, bien sûr, de nouveaux concepts pour des lasers à haute puissance beaucoup plus efficaces, et les attentes sont donc élevées. Mais nous pouvons toujours nous attendre à un long chemin vers le succès technologique. Sur cette voie, de nombreuses questions fondamentales à l'intersection de la physique des lasers, de la science des matériaux, de l'optique, de la physique des plasmas et de la physique nucléaire doivent encore être abordées et surmontées. Cela crée une opportunité formidable pour les membres plus jeunes de notre communauté.

Comme tout le monde, je continuerai à suivre avec grand intérêt le développement de la fusion par confinement magnétique et par confinement inertiel. Il est remarquable que l'optique et la photonique, comme aucun autre domaine, ouvrent la voie aux technologies futures – non seulement dans la fusion, mais aussi dans la détection, la communication et l'informatique quantiques ; la microélectronique à haut rendement énergétique ; l'interaction sûre et efficace entre l'homme et la machine ; et cela dans plusieurs autres domaines.

—Gerd Leuchs,  
Président d'Optica



科学家们在找寻地球上最经济、最易获得、不受时间或天气影响的能源之时，一直在寻找每个基本过程中能提供最多能量的反应。考虑到基本粒子之间强作用力带来的高结合能，核裂变是一个必然的选择。但众所周知，裂变能源有一个缺点，会产生放射性废物。如此看来，更好的办法是实现可控的太阳供能过程，即核聚变。

从我记事起，核聚变能源就是一个梦想。在我的祖国德国，从1960年代开始就启动了研究计划，同时致力于磁约束聚变和惯性约束聚变（即激光聚变）。在我撰写博士论文之初，德国已经放弃了对激光聚变的研究，但在其他地方，尤其是美国，研究仍在继续。

磁约束聚变成为了欧盟和其他几个地区的重点工作。相关研究已逐步取得进展，但不时也会遇到无法预料的问题，这在基础科学中很常见，只要付出足够的努力就能克服。目前，磁约束聚变研究正在稳步推进，且发展前景良好。在建造一座有意义的核电站之前，磁约束核聚变的性能只差大约五倍。

随后，在2022年12月，致力于激光核聚变研究的美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室 (Lawrence Livermore National Laboratory) 宣布国家点火装置 (NIF) 该设施追求激光聚变，宣布他们已经超过了“科学盈亏平衡”，创造了一个比触发它的激光诱导的X射线能量更多的能量的聚变反应。在这么高的级别上扩大规模十分困难，即使是两倍的改进也可能非常具有挑战性。这一难关的突破具有里程碑意义，值得高度赞扬，因此获得了相关媒体的全情关注。

有趣的是，激光核聚变的最新进展在全球范围内催生了数十家初创公司，因而成为了许多光学和光子学会议的热门话题。我觉得这很了不起，因为正如磁约束聚变一样，激光核聚变仍长路漫漫。其一，NIF实现的科学上的“盈亏平衡”只是将产生的聚变能与点燃核燃料的靶实际吸收光能进行了比较。激光器的壁塞效率并没有考虑在内，而对于 NIF 来说，壁塞效率和脉冲重复率都很低。

当然，随着各种更高效高功率激光器的新概念出现，大家开始寄予较高的期望。但要取得技术上的成功，仍前路漫漫。在这条路上，激光物理、材料科学、光学、等离子体物理和核物理交叉领域的许多基本问题仍待解决和克服。对我们学界的年轻成员来说，这也是一个绝佳的机会。

和大家一样，我将持续关注磁约束聚变和惯性约束聚变的进展。值得注意的是，与其他领域不同，光学和光子学正在为未来的技术铺路，不仅是在核聚变领域，在量子传感、通信和计算机、节能微电子、安全高效的人机交互等很多其他领域亦是如此。

Gerd Leuchs  
Optica 会长



**A**uf der Suche nach einer möglichst wirtschaftlichen Energiequelle auf der Erde, die unabhängig von Zeit und Wetter leicht verfügbar ist, haben Wissenschaftler nach Reaktionen gesucht, die die höchste Energiemenge pro Elementarprozess liefern. Angesichts der hohen Bindungsenergie, die mit der starken Kraft zwischen den Elementarteilchen verbunden ist, war die Kernspaltung eine naheliegende Wahl. Der Kernspaltungsprozess hat jedoch den bekannten Nachteil des radioaktiven Abfalls. Viel besser scheint eine kontrollierte Version des Verfahrens zu sein, das die Sonne antreibt: die Kernfusion. Die Fusionsenergie ist schon solange ich zurückdenken kann ein Traum gewesen. In meinem Heimatland Deutschland begannen in den 1960er Jahren Forschungsprogramme, die sowohl auf die Fusion mit magnetischem Einschluss als auch auf die Trägheitsfusion (d.h. die Laserfusion) abzielten. Als ich mit der Arbeit an meiner Dissertation begann, wurde die Forschung zur Laserfusion in Deutschland eingestellt, aber anderswo, vor allem in den Vereinigten Staaten, ging sie weiter.

Die Kernfusion mit magnetischem Einschluss wurde zu einer Priorität der Europäischen Union und auch anderswo auf der Welt. Die Forschung ist Schritt für Schritt vorangekommen, wobei sie hier und da auf unvorhergesehene Probleme stieß - wie es in der Grundlagenforschung üblich ist -, die aber mit einigem Aufwand überwunden werden konnten. Die Fortschritte bei der Kernfusion mit magnetischem Einschluss waren stetig und laufen in eine vielversprechende Richtung. Bis zum Bau eines sinnvollen Kraftwerks muss der Gesamtwirkungsgrad nur noch etwa fünffach gesteigert werden.

Die National Ignition Facility (NIF) am Lawrence Livermore National Laboratory in den USA, die sich mit der Laserfusion befasst, gab im Dezember 2022 bekannt, dass das „wissenschaftliche Break-Even“ überschritten wurde, indem sie eine Fusionsreaktion erzeugte, bei der die produzierte Energie größer war als die laserinduzierte Röntgenenergie, die die Reaktion auslöste. Auf diesem hohen Niveau ist jede weitere Erhöhung der Effizienz schwierig, und selbst ein Verbesserungsfaktor von zwei kann eine große Herausforderung sein. Das Erreichen dieses Meilensteins war eine sehr lobenswerte Leistung, die die ganze Aufmerksamkeit der Medien verdient hat.

Interessanterweise haben die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiet der Laserfusion weltweit Dutzende von Start-up-Unternehmen auf den Plan gerufen und das Thema wurde auf vielen Optik- und Photonik-Konferenzen heiß diskutiert. Ich finde das bemerkenswert, denn bei der Laserfusion ist es wie bei der Fusion mit magnetischem Einschluss noch ein weiter Weg. Unter anderem vergleicht der wissenschaftliche Breakeven der NIF nur die erzeugte Fusionsenergie mit der Lichtenergie, die tatsächlich vom Target absorbiert wird, um den Kernbrennstoff zu zünden. Der Wirkungsgrad des Lasers ist nicht berücksichtigt - und der war bei NIF niedrig, ebenso wie die Pulswiederholrate.

Es gibt allerdings neue Konzepte für viel effizientere Hochleistungslaser, daher besteht große Hoffnung. Aber bis zum technologischen Erfolg ist es noch ein langer Weg. Dabei müssen noch viele grundlegende Fragen an der Schnittstelle von Laserphysik, Materialwissenschaft, Optik, Plasmaphysik und Kernphysik geklärt werden. Dies ist eine wunderbare Gelegenheit für die jüngeren Mitglieder in unserer Community.

Wie viele andere, werde ich die Entwicklung der Fusionsprojekte sowohl mit magnetischem Einschluss als auch mit Trägheitseinschluss weiterhin mit großem Interesse verfolgen. Es ist bemerkenswert, dass die Optik und Photonik wie kein anderes Gebiet den Weg für zukünftige Technologien ebnet - nicht nur in der Fusion, sondern auch in der Quantensensorik, in der Kommunikation, im Computing, in der energieeffizienten Mikroelektronik, in der sicheren und effizienten Mensch-Maschine-Interaktion und in so vielen anderen Bereichen.

—Gerd Leuchs,  
Optica Präsident



# — 会長からのメッセージ

時間や天候に左右されずに、地球上で最も経済的で手に入りやすいエネルギー資源を探るとき、科学者たちは得られる素過程あたりのエネルギー量が最も多い反応を模索してきました。素粒子間の強い力と関係する結合エネルギーが高いことを考えると、核分裂反応は自明の選択でした。しかし、核分裂エネルギーには放射性廃棄物という周知の欠点もあります。そうすると、太陽にエネルギーを供給している過程を制御したものである核融合の方が遥かに優れているように思えてきます。

核融合エネルギーは、私が覚えているかぎり常に夢の存在でした。私の母国ドイツでは1960年代に、磁場閉じ込め核融合と慣性閉じ込め核融合(つまりレーザー核融合)の両方の研究プログラムが平行して進められてきました。私が博士論文の研究に取り掛かり始めた頃には、ドイツではレーザー核融合に向けた研究は中止されてしまいましたが、国外、特に米国では研究が続けられてきました。

磁場閉じ込め核融合は、欧州連合や他のいくつかの地域では優先されるようになりました。基礎科学の常として、研究は時に予期せぬ問題に遭遇しながらもそれらを克服するに十分な努力を尽くして一歩ずつ前進してきました。磁場閉じ込め核融合は着実に進歩しており、今も歩み続ける先には将来性があります。有意義な発電所を建設できるようになるまでに、性能をあと5倍ほど高めるだけのところまで来ています。

そして2022年12月には、レーザー核融合を追求し続けてきた米国のローレンス・リバモア国立研究所の国立点火施設(NIF)が、「科学的損益分岐点 (scientific breakeven)」を超え、核融合反応を引き起こすことで生産されるエネルギー量が、反応のトリガーであるレーザー誘起によるX線エネルギー量を上回ったことを発表しました。このような高いレベルではスケールアップが難しく、2倍向上させるだけでも達成するのが非常にチャレンジングなことです。これらのマイルストーンに到達することは大いに称賛すべき成果であり、メディアの注目を集めるに完全に値するものでした。

興味深いことに、レーザー核融合における近年の進歩は世界各地で何十社ものスタートアップ企業を生み出し、数々の光学・フォトニクス学会で注目を集めるホットな話題となっています。これは注目すべきことだと思います。というのも、磁場閉じ込め核融合と同様に、レーザー核融合の前途もまだ長いものです。特に、NIFが達成した科学的損益分岐点は、生成された核融合エネルギーを核燃料を点火するためにターゲットが吸収した光エネルギーとだけしか比較していないのです。レーザーのウォールプラグ効率は考慮されておらず、それもNIFにとってはパルス繰り返し周波数も同様に低いものでした。

もちろん、より効率的な高出力レーザーという新たな概念があることから、期待は高まっています。しかし、技術の成功までの道のりはまだ長いことが予想されます。その道のりを進むにあたり、レーザー物理学、材料科学、光学、プラズマ物理学、核物理学が交差する領域で多くの基礎的な問題に取り組み、それらを乗り越えていかなければなりません。これは、私たちのコミュニティの若者たちにとって素晴らしい機会をもたらしています。

皆さんと同じく、私も大きな関心をもって磁場閉じ込め核融合と慣性閉じ込め核融合の開発を見守り続けたいと思います。核融合だけでなく、量子センシング・通信・コンピューティング、エネルギー効率の高いマイクロエレクトロニクス、安全で効率的なヒューマンマシン・インタラクションなどをはじめとする数々の領域で、他のどの分野よりも光学やフォトニクスが将来の技術への道を切り拓いていることは、驚くべきことなのです。

ゲルト・ロイクス  
Optica 会長





**A**l buscar la fuente de energía más económica y fácilmente disponible en la Tierra, independientemente del tiempo y el clima, los científicos han investigado reacciones que proporcionen la mayor cantidad de energía por proceso elemental. La fisión nuclear era una opción obvia, dada la alta energía de enlace asociada con la potente fuerza entre las partículas elementales. Sin embargo, la energía de fisión tiene la conocida desventaja de los residuos radiactivos. Al parecer, sería mucho mejor una versión controlada del proceso que alimenta el Sol: la fusión nuclear.

La energía de fusión ha sido un sueño desde que tengo memoria. En mi propio país, Alemania, los programas de investigación comenzaron en la década de 1960 con el objetivo de apuntar en paralelo tanto a la fusión de confinamiento magnético como a la fusión de confinamiento inercial (es decir, la fusión láser). En el momento en que comencé a trabajar en mi tesis, la investigación sobre la fusión con láser ya se había detenido en Alemania, sin embargo, esta continuó en otros lugares, especialmente en los Estados Unidos.

La fusión por confinamiento magnético se convirtió en una prioridad de la Unión Europea y otras áreas. La investigación ha progresado paso a paso, encontrando problemas imprevistos por aquí y por allá, como es habitual en la ciencia fundamental, pero superándolos con suficiente esfuerzo. El progreso en la fusión de confinamiento magnético ha sido constante y continúa hoy en día en una dirección prometedora. Solo falta un factor de cinco en el rendimiento antes de que se pueda construir una planta de energía significativa.

Luego, en diciembre de 2022, la Instalación Nacional de Ignición (NIF) del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, EE. UU., que ha trabajado en fusión láser, anunció que había superado el “punto de equilibrio científico”, creando una reacción de fusión que producía más energía que la energía de rayos X inducida por láser que la desencadenaba. A este alto nivel, el escalamiento es complejo, e incluso los factores de mejora de dos pueden ser muy desafiantes. Alcanzar este hito fue un logro muy loable, que mereció toda la atención mediática que atrajo.

Curiosamente, el reciente progreso en la fusión láser ha desencadenado docenas de empresas emergentes en todo el mundo y lo ha convertido en un tema candente en muchas conferencias de óptica y fotónica. Esto me parece notable, ya que, para la fusión láser, al igual que con la fusión de confinamiento magnético, el camino por delante es todavía largo. Entre otras cosas, el punto de equilibrio científico alcanzado en el NIF compara la energía de fusión generada solo con la energía luminosa realmente absorbida por el objetivo para encender el combustible nuclear. La eficiencia radiante del láser no se tiene en cuenta y, en el caso del NIF, fue baja, al igual que la tasa de repetición del pulso.

Por supuesto, hay nuevos conceptos para láseres de alta potencia mucho más eficientes, por lo que las esperanzas son altas. Pero aún se debe esperar un largo camino hacia el éxito tecnológico. A lo largo de ese camino, muchas cuestiones fundamentales en la intersección de la física láser, la ciencia de los materiales, óptica, física del plasma y nuclear aún deben abordarse y superarse. Esto crea una maravillosa oportunidad para los miembros más jóvenes de nuestra comunidad.

Al igual que todo el mundo, seguiré observando con gran interés el desarrollo tanto del confinamiento magnético como de la fusión de confinamiento inercial. Es notable que la óptica y la fotónica, como ningún otro campo, estén allanando el camino para las tecnologías futuras, no solo en fusión, sino también en detección cuántica, comunicación y computación, en microelectrónica energéticamente eficiente, en una interacción hombre-máquina segura y eficiente, así como en tantos otros ámbitos.

—Gerd Leuchs,  
Presidente de Optica

